

УДК 55.16.20; 621.98.044.7

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОДОВ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЕМ

¹Мартынов С. В., Верхотуров А. Д., ²Коневцов Л. А., ³Коновалов С. В.,
⁴Коваленко С. В., ¹Козырь А. В.

¹Амурский государственный университет, г. Благовещенск

²Институт материаловедения ХНЦ ДВО РАН, г. Хабаровск

³Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королёва, г. Самара

⁴Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск

Известно, что высокая химическая активность титана и его сплавов ограничивает жаростойкие свойства материала при температурах выше 500°C [1]. Объемное легирование и термическая обработка ($\alpha+\beta$)-сплавов в большей степени повышает жаропрочность титана, чем жаростойкость. Применяя метод электроискрового легирования (ЭИЛ) можно повысить длительную стойкость титановых сплавов к высокой температуре, при этом необходимый эффект можно получить, упрочняя лишь рабочую поверхность деталей. В работах [2-4] показана перспективность упрочнения титанового сплава алюминием, установлены закономерности переноса материала анода при ЭИЛ с учетом критерия теплового воздействия.

В данной работе представлены исследования структуры и свойств измененных поверхностных слоев Ti-сплавов после ЭИЛ алюминием с целью определения оптимальных условий ЭИЛ, учитывая критерий теплового воздействия.

В качестве материала подложки (катода) использовались титановые сплавы BT1, BT9, BT18; материала анода – алюминий марки АТ. ЭИЛ выполнялось на установках “ЭФИ-46А”, “ЭФИ 25М” на воздухе, в среде аргона, гелия. Электроду-инструменту (аноду) сообщалась вибрация частотой 100 Гц или вращение вокруг горизонтальной оси (при использовании проволоки) со скоростью 750 мин⁻¹. Электрические режимы выбраны в диапазоне: $J_{к.з.} = 2,6-125\text{ А}$, $U_{х.х.} = 15-193\text{ В}$, $E=0,03-6\text{ Дж}$.

Металлографический анализ упрочнённого слоя при ЭИЛ Al/BT9 показал, что при высоких значениях энергии в импульсе $E=3-6\text{ Дж}$, условия формирования легированного слоя (ЛС) хуже – большое число трещин, сколов. Высота ЛС $h_{ЛС} = 30-40\text{ мкм}$ при легировании с низкими значениями энергии в импульсе $E=0,12-0,28\text{ Дж}$ и $h_{ЛС} = 60-70\text{ мкм}$ при легировании с высокими энергиями в импульсе $E=3-6\text{ Дж}$. Аналогична зависимость микротвердости ЛС – 200 МПа при низких и 500-950 МПа при высоких значениях энергии ЭИЛ. Качество покрытий зависит также и от вида движения анода (рис. 1). При обработке вибрирующим электродом (рис. 1а) под слоем чистого алюминия возникает тонкая упрочнённая зона с микротвёрдостью 500-800 МПа, неравномерно распределенная по поверхности образца. При вращении анода под слоем алюминия (рис. 1б) образуется белая зона толщиной 60-80 мкм с микротвёрдостью до 800-1000 МПа. Эта зона относительно равномерно расположена по всему сечению шлифа.

Микроструктура поверхности анода при ЭИЛ Al/BT18 (рис. 2) характеризуется участками оплавления, интенсивного испарения материала, отсутствием блокировки рабочей поверхности электрода вторичными структурами и активной эрозией последних со следами контактного взаимодействия с материалом катода. Длительность ЭИЛ единичной площади (1 см²) на режимах с критерием тепловых воздействий $R=1,5$

А/Дж при энергии в импульсе $E=3$ Дж должна быть не более 6-7 мин. Кроме того, при длительности ЭИЛ 14 мин порог хрупкого разрушения (T_x) не достигнут на режимах с критерием $R>33$ А/Дж, что означает непрерывный привес катода и соответствующее увеличение эрозии анода. Микроструктура ЛС подложки неоднородна: обнаружен ряд характерных участков со специфической структурой, среди которых выделяются места контактного взаимодействия электродов в виде лунок, капель закристаллизовавшейся жидкости, участки хрупкого и усталостного разрушения.

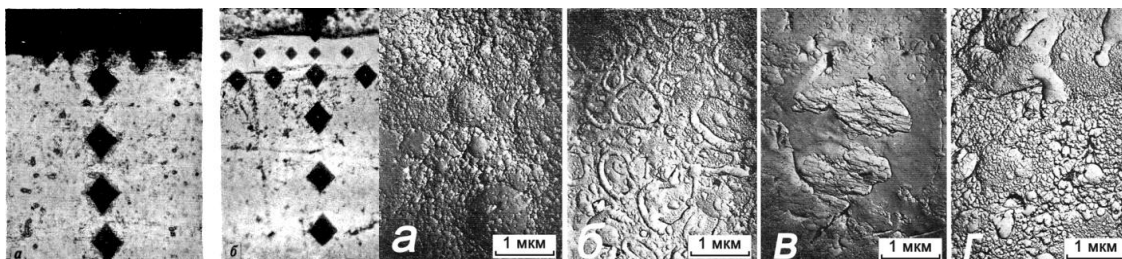


Рис. 1. Микротвердость йодидного Ti, легированного Al при условиях: а – вибрирующий электрод-анод, б – вращающийся электрод-анод.

Рис. 2. Микроструктура поверхности анода после трёх проходов ЭИЛ Al/VT18: а – схватывание электродов, б – разбрызгивание жидкой фазы, в и г – первичное и вторичное разрушение структуры соответственно.

Установлено влияние межэлектродной среды на условия массопереноса, где наиболее благоприятной для формирования ЛС является инертная среда. В эксперименте слой, полученные при ЭИЛ VT1 алюминием в среде аргона и гелия, были лучшего качества (меньше микротрещин, пор, лучше сплошность), чем полученные в воздухе. В два раза интенсивней происходит перенос материала анода на катод в межэлектродной среде аргона, нежели воздуха. Так как теплопроводность гелия в 10-15 раз больше, чем у аргона, и достаточная ионизация для дуги аргона при 10^{17} ионов/см³ наступает при 16000 °К, в то время как для гелия – при 25000 °К. Низкий температурный градиент по радиусу канала разряда в гелии приводит к тому, что концентрация тепла в зоне разряда на катоде в гелии меньше, чем в аргоне. Следовательно, процесс охлаждения материала электродов в зоне разряда значительно ближе к адиабатическому в аргоне, чем в гелии.

Показано, что фазовый состав ЛС при изменении режимов обработки практически не изменяется. Рентгенофазовый анализ ЛС сплава VT18 показал присутствие Ti и Al, причем встречаемость участков с содержанием Ti больше, чем с содержанием Al; интерметаллидов Ti_3Al , $TiAl$, $TiAl_3$; нитрида титана TiN и оксида алюминия Al_2O_3 . При ЭИЛ Ti/VT9 формируется ЛС, содержащий до глубины 130 мкм фазы: TiN , Al_3Ti , γAl_2O_3 , αAl_2O_3 ; до глубины 170 мкм фазы: Al_3Ti , Ti_3O_5 , $\alpha-Ti$ и до 210 мкм фазы Ti_3O_5 и $\alpha-Ti$.

Библиографический список

1. Солонина, О. П., Глазунов, С. Г. Жаропрочные титановые сплавы //М.: Металлургия, 1976, 447с.
2. Верхотуров, А. Д., Подчерняева, И. А., Панашенко, В. М., Коневцов, Л. А. Электроискровое легирование титана и его сплавов металлами и композитными материалами [Текст]/ А. Д. Верхотуров, И. А. Подчерняева, В. М. Панашенко, Л. А. Коневцов// ред. член-корр. Буренин А.А. Комсомольск-на-Амуре: ИМиМ ДВО РАН, 2014. 320 с.
3. Верхотуров, А. Д., Козырь, А. В., Коневцов, Л. А. Исследование процесса формирования поверхностного слоя титанового сплава при электроискровом

легировании с учётом критерия теплового воздействия [Текст]/ А. Д. Верхотуров, А. В. Козырь, Л. А. Коневцов// Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. № I-1(21). 2015. – С. 68-75.

4. Верхотуров, А. Д., Рогозинская, А. А., Тимофеева, И. И. Формирование упрочнённого слоя при электроискровом легировании сталей и титановых сплавов [Текст]/ А. Д. Верхотуров, А. А. Рогозинская, И. И. Тимофеева // Киев: Общество “Знание” УССР Металлургия. 1979. 28 с.